

Gasturbinen der nächsten Generation

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Institut für Antriebstechnik

Dipl.-Ing. Carl-Georg Seydel



Wissen für Morgen



Gliederung

1. Institut für Antriebstechnik – DLR
2. Anforderungen an Gasturbinen im Kraftwerkssektor
3. Entwicklungstendenzen am Markt
4. Gasturbinentechnologie für Morgen



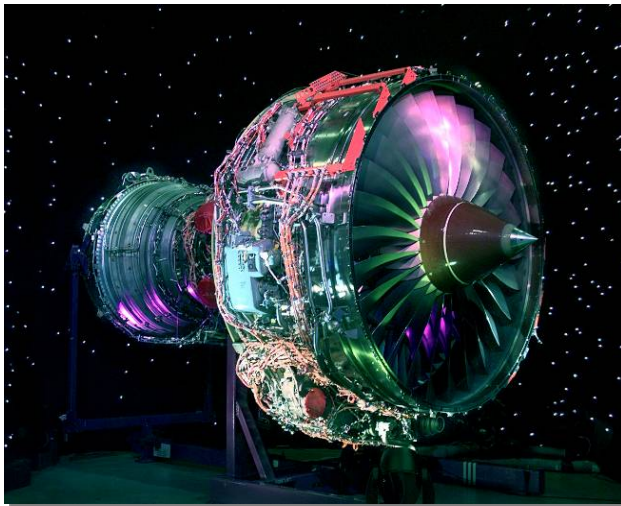
Gliederung

- 1. Institut für Antriebstechnik – DLR**
2. Anforderungen an Gasturbinen im Kraftwerkssektor
3. Entwicklungstendenzen am Markt
4. Gasturbinentechnologie für Morgen

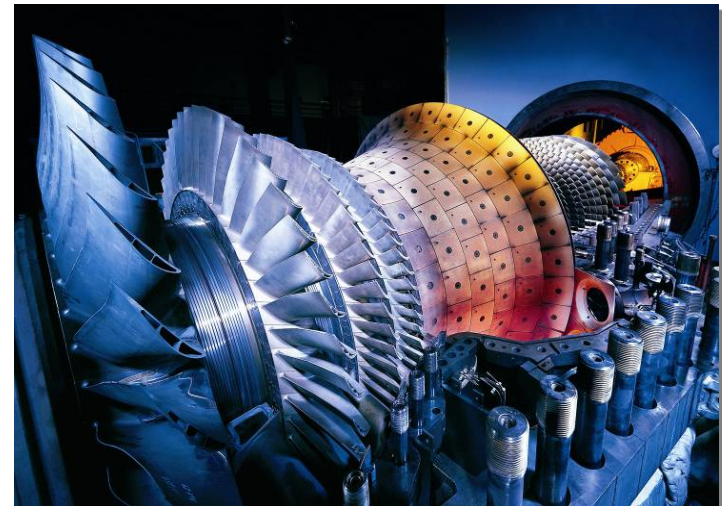


Mission des Instituts für Antriebstechnik

- Effizienzsteigerung (Ressourcenschonung und Wirtschaftlichkeit)
- Minimierung von Umwelteinflüssen (Schadstoffemissionen und Lärm)
- Beschleunigung von Produktentwicklungen



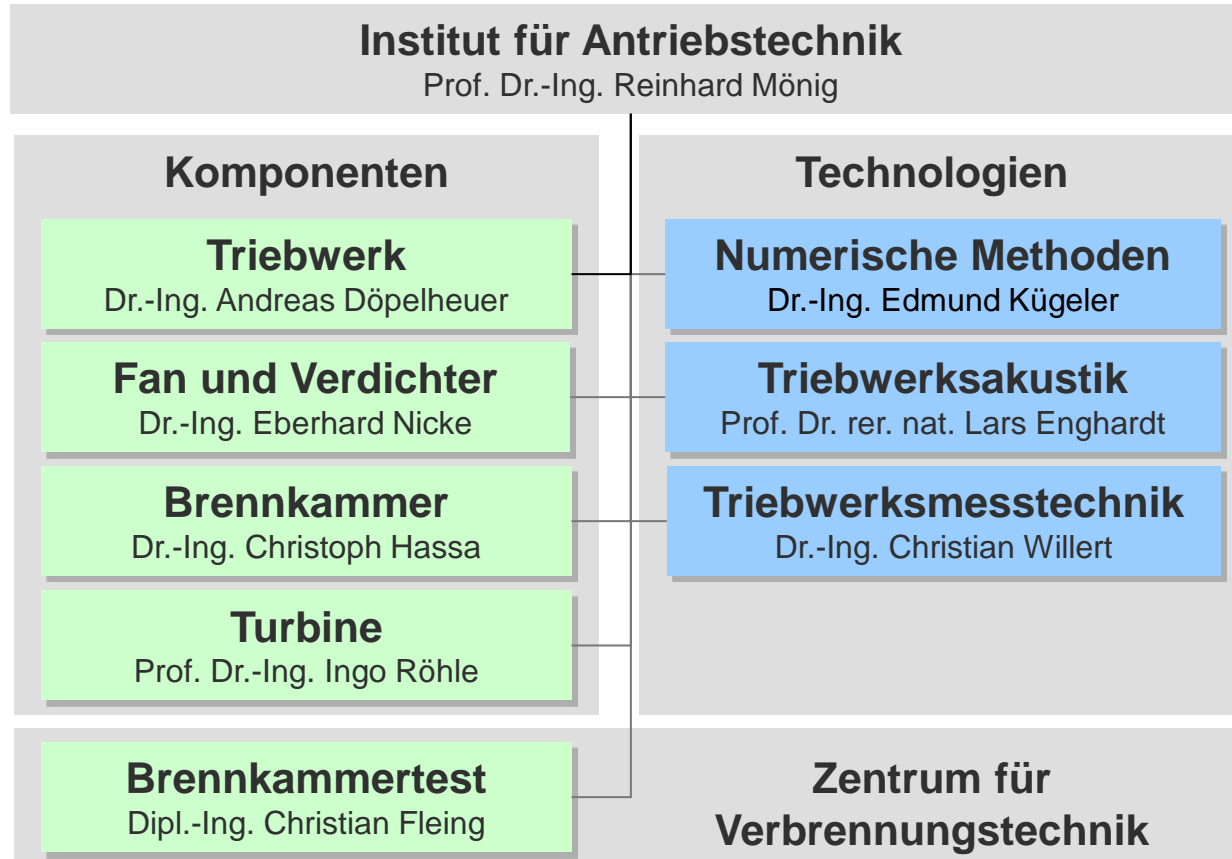
Rolls-Royce TRENT 500



Siemens SGT5-4000F



Organisation



Personalstruktur und Industriepartner

- ca. 130 Mitarbeiter in **Köln**
- ca. 30 Mitarbeiter in **Berlin**
- ca. 15 Mitarbeiter in **Göttingen**
- ca. 105 wissenschaftliche Mitarbeiter
- ca. 40 FH-Ingenieure
- ca. 30 Mechaniker und administratives Personal
- **ca. 175 Mitarbeiter gesamt**

Hauptindustriepartner

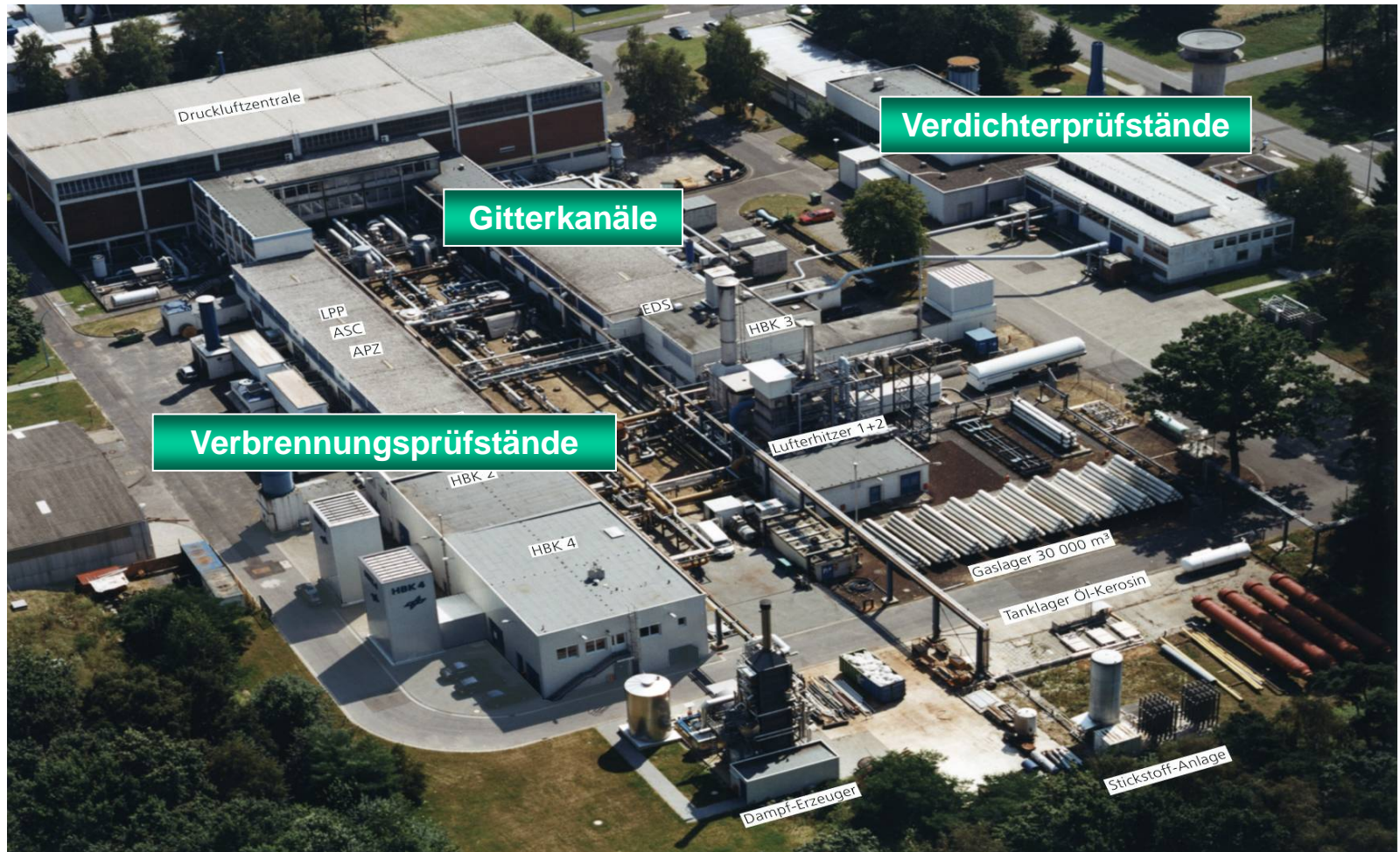
- MTU
- Rolls-Royce
- Siemens
- Alstom

Vollkosten: 24 M€

Drittmittel: 50 %



Prüfstände des Instituts am Standort Köln



SUN-Fire-Cluster des Instituts

- Inbetriebnahme in 2009 – Leistungsverdoppelung in 2011 – Betrieb bis 2014
- Betrieb durch T-Systems-SfR
- Neues System: 200+136 Sun Fire X4170 Knoten – >3200 Hochleistungsprozessoren (ca. 33 TFLOPS Peak Performance)
- Strategische Investition für hochkomplexe Simulationen



Gliederung

1. Institut für Antriebstechnik – DLR
- 2. Anforderungen an Gasturbinen im Kraftwerkssektor**
3. Entwicklungstendenzen am Markt
4. Gasturbinentechnologie für Morgen



Donnerstag, 17. Februar 2011

Schlagzeilen | Hilfe | RSS | Newsletter | Mobil | Wetter | TV-Programm

SPIEGEL ONLINE WISSENSCHAFT

NACHRICHTEN VIDEO THEMEN FORUM ENGLISH DER SPIEGEL SPIEGEL TV ABO SHOP

Home | Politik | Wirtschaft | Panorama | Sport | Kultur | Netzwelt | Wissenschaft | einestages | UniSPIEGEL | SchulSPIEGEL | Reise | Auto

Nachrichten > Wissenschaft > Natur > Klimawandel Login | Registrierung

THEMA Klimawandel

Alle Artikel und Hintergründe

29.04.2009 Drucken | Senden | Feedback | Merken

London - Noch gewinnt die Menschheit einen Großteil ihrer Energie durch das Verbrennen von Kohle, Öl und Gas - mit den bekannt negativen Folgen für das Weltklima. Neue Studien legen nun nahe, wie schnell das Ende des fossilen Zeitalters kommen muss, wenn die globale Erderwärmung wie gewünscht auf zwei Grad Celsius begrenzt werden soll. So könnten der Welt nach Meinung vieler Forscher zumindest die schlimmsten Folgen des Klimawandels erspart bleiben.



DPA

Braunkohlekraftwerk Frimmersdorf (Ende Februar 2008): "Nur mit einer schnellen Abkehr von den fossilen Brennstoffen haben wir gute Chancen, eine deutliche Erwärmung zu vermeiden"

Zwei-Grad-Ziel

Kritische Klimagrenze ist nur noch schwer zu erreichen

Kaum mehr Spielraum zum Gegensteuern: Das von weltweit rund hundert Staaten angestrebte Zwei-Grad-Klimaziel lässt sich nach neuen Erkenntnissen nur sehr schwer erreichen. Rigorose Emissionsbeschränkungen sind die einzige Möglichkeit, warnen Klimaforscher.



Nachrichten vom 28.06.2011 FOCUS Online | FOCUS Magazin | FOCUS TV | FOCUS-SCHULE Meine Themen | Log

FOCUS ONLINE MONEY Home Politik Finanzen Wissen Gesundheit Kultur Panorama Sport Digital

Wirtschafts-News | Börse | Altersvorsorge | Banken | Versicherungen | Steuern | Re

Atomausstieg IW erwartet Milliardenkosten durch Atomausstieg

Montag, 27.06.2011, 15:23

SCHLAGWÖRTER

[Deutschland](#)
[Industriestandort](#)
[Institut der deutschen Wirtschaft](#)
[IW](#)
[Strompreise](#)

Google-Anzeigen 

[Visa Card](#)
[Strompreis](#)
[Kreditkarte](#)
[Visa Gold](#)

Das Institut der deutschen Wirtschaft (IW) erwartet durch den beschleunigten Atomausstieg Milliardenkosten. Laut IW könnte der Atomausstieg auch eine Schwächung des Industriestandorts Deutschland mit sich bringen.

 Empfehlen  Twittern 3  +1 0

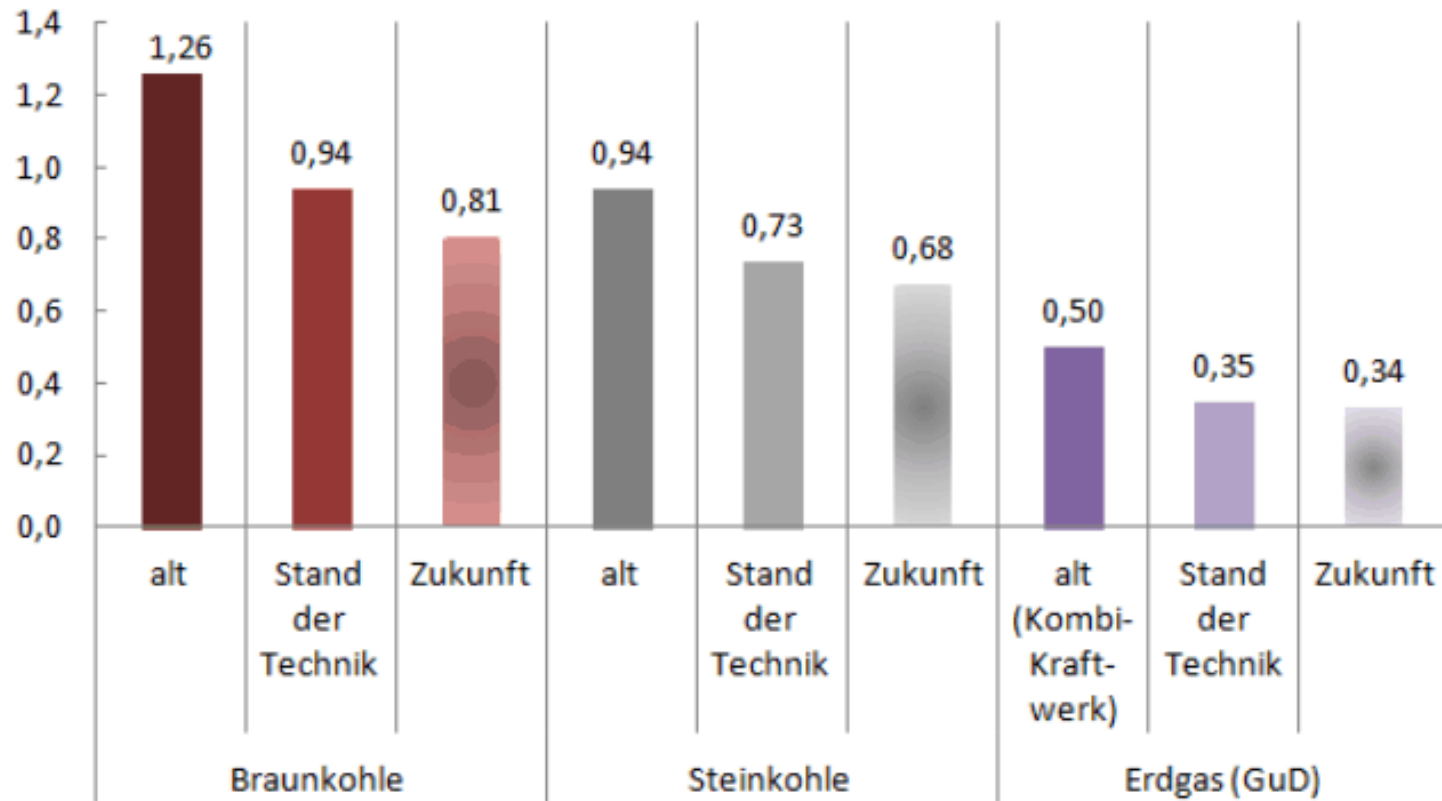
Das arbeitgebernahe Institut der deutschen Wirtschaft (IW) erwartet infolge des beschleunigten Atomausstiegs erhebliche Konsequenzen für die deutsche Wirtschaft. Nicht nur koste es rund 55 Milliarden Euro, den wegfallenden Strom der Kernkraftwerke durch neue oder erweiterte Kohle- und Gaskraftwerke zu ersetzen, teilte das Institut am Montag in Berlin mit. Zusätzlich könnten steigende Strompreise das produzierende Gewerbe ins Ausland treiben und damit den Industriestandort Deutschland schwächen.

„Die Lücke der Stromerzeugung in Deutschland wird von bestehenden Kohle- und Gaskraftwerken gefüllt“, sagte IW-Direktor Michael Hüther. Dafür sei es notwendig, bestehende Kraftwerke für Stein- und Braunkohle sowie Gas auszubauen oder zu modernisieren. Gegebenenfalls müssten sogar neue gebaut werden. Das könnte in den nächsten zwei Jahrzehnten zusätzliche 55 Milliarden Euro kosten. Noch kostspieliger ist dem IW zufolge der Ausbau erneuerbarer Energien.



Spezifische CO₂-Emissionen verschiedener Kraftwerkstypen

kg/kWhel, netto



Quelle: Umweltbundesamt: Klimaschutz und Versorgungssicherheit - Entwicklung einer nachhaltigen Stromversorgung, Climate Change 13/2009, Dessau-Roßlau 2009



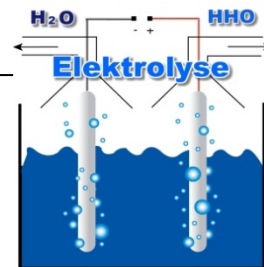
Wasserstoff: Energieträger der Zukunft?

Kurs der Bundesregierung für den Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostrombedarf in Deutschland:

50 % bis 2030, 65 % bis 2040, 80 % bis 2050

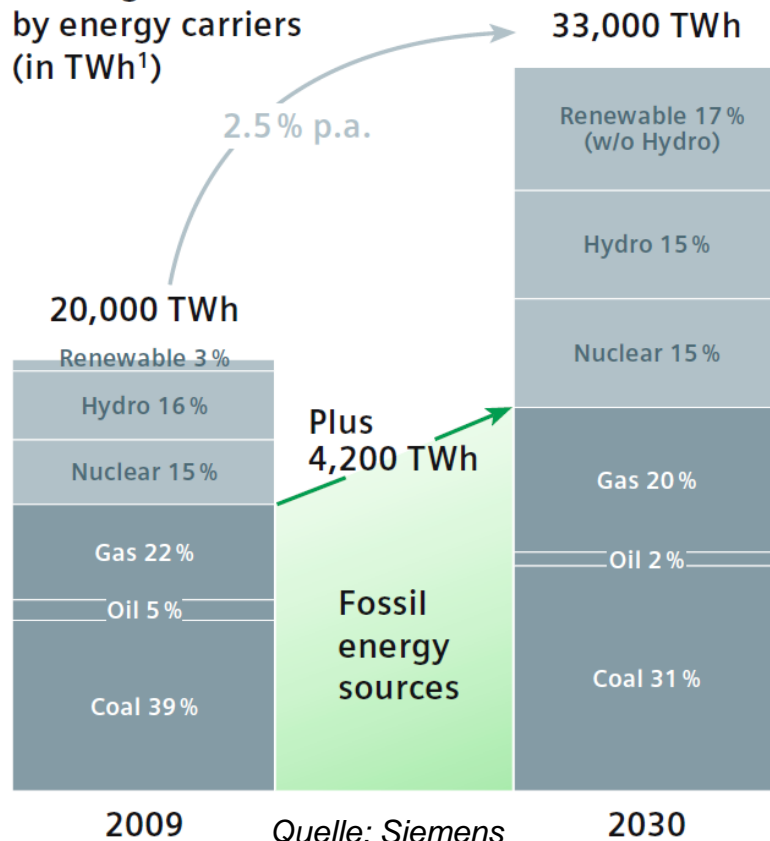
(aktuell nach Fukushima: 20 %)

- Speicherung von überschüssiger erneuerbarer Energie notwendig, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten
- erhöhter Bedarf an Regellenergie durch Leistungsschwankungen von Wind und Sonne erfordert flexible Kraftwerke



Entwicklung der Energieherkunft und des Bedarfs

Power generation
by energy carriers
(in TWh¹)



1: Strombedarf weltweit

Regenerativ: 600 TWh → 5610 TWh (+ 835%)

Wasser: 3200 TWh → 4950 TWh (+ 55%)

Nuklear: 3000 TWh → 4950 TWh (+ 65%)

Gas: 4400 TWh → 6600 TWh (+ 50%)

Öl: 1000 TWh → 660 TWh (- 34%)

Kohle: 7800 TWh → 10230 TWh (+ 32%)

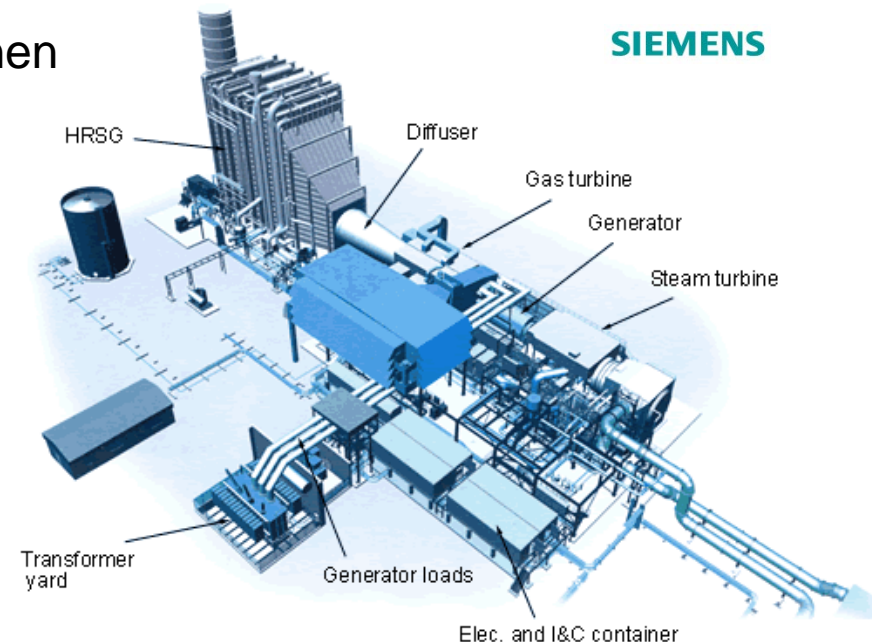
Gesamt: 20000 TWh → 33000 TWh (+ 65%)

- Wirkungsgradverbesserung fossiler Kraftwerke und ggf. CO₂-Speicherung notwendig, um Klimaziele zu realisieren!
- Anteil rotierender Massen im Netz sinkt!



Anforderungen an zukünftige Gasturbinen

- höhere Lastgradienten zur Garantie der Netzstabilität
- größere Blockleistungen und höhere Effizienz
- Erhaltung und Steigerung der Wirtschaftlichkeit
- Reduzierung der NO_x/CO-Emissionen
- Erhöhung der Betriebsflexibilität
- Steigerung der Verfügbarkeit

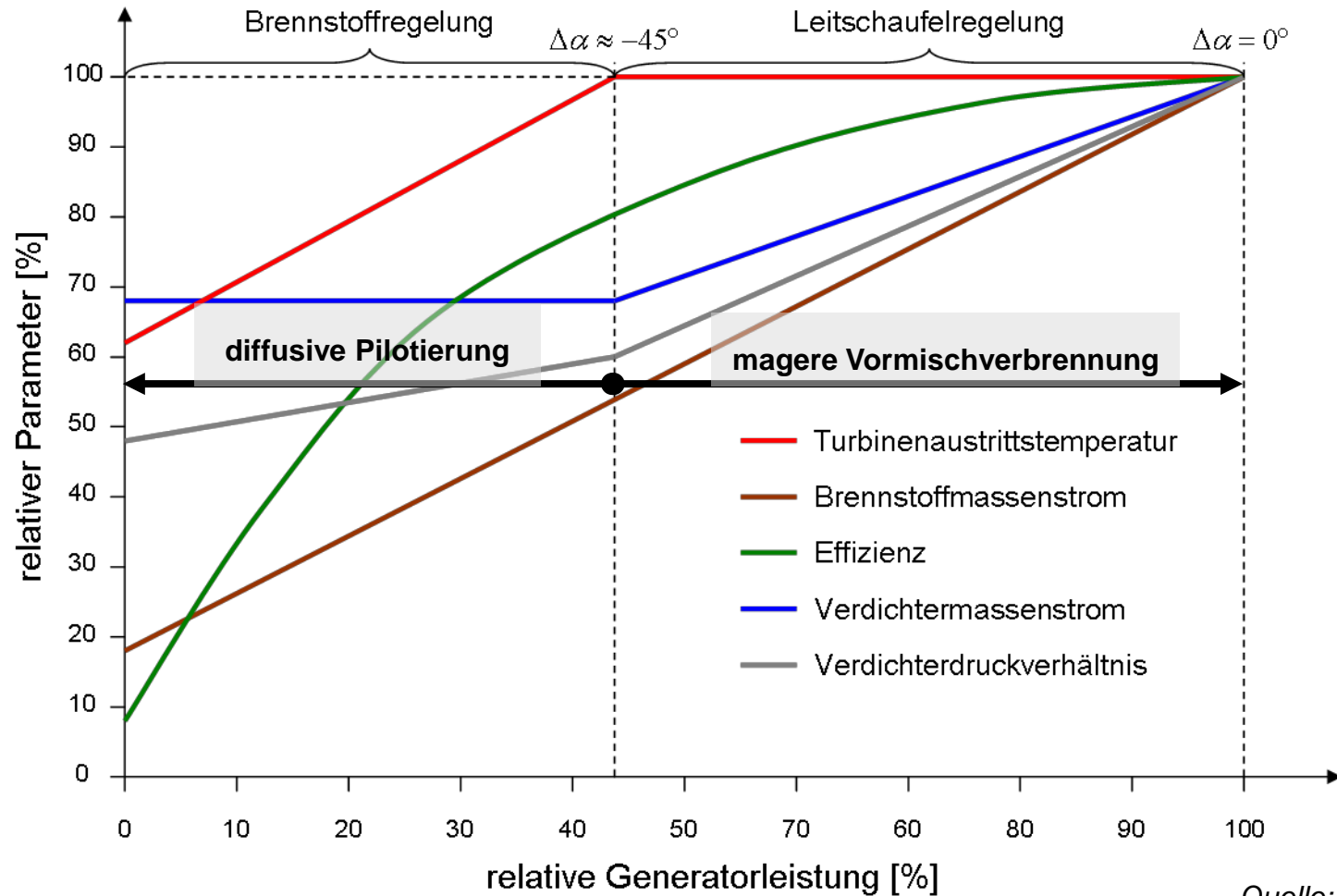


Gliederung

1. Institut für Antriebstechnik – DLR
2. Anforderungen an Gasturbinen im Kraftwerkssektor
- 3. Entwicklungstendenzen am Markt**
4. Gasturbinentechnologie für Morgen



Gasturbinenregelung im GuD-Betrieb



Quelle: DLR



Entwicklungstendenzen: Siemens SGT5-8000H



- > 570 MW CC-Blockleistung
- 60,75 % CC-Wirkungsgrad, TÜV-zertifiziert
- Entwicklung auf $\eta_{CC} \sim 62\%$ (Netto)
- 40 – 100 % Leistung im Vormischbetrieb
- Lastgradienten > 35 MW/min
- ausschließlich luftgekühlt



- Ansaugmassenstrom: 810 kg/s
- Verdichterdruckverhältnis: 19,2 : 1
- Axialverdichterstufen: 13
- Turbinenstufen: 4
- Turbineneintrittstemperatur: $\sim 1550^\circ \text{C}$
- Turbin Austrittstemperatur: 625°C

*Schätzwerte

Quelle: Siemens



Besondere Merkmale: SGT5-8000H

- erste Anlage am Markt mit > 60 % CC-Wirkungsgrad (Netto)
- zentraler Zuganker mit Hirth-verzahnten Scheiben
- 1 IGV + 3 VGVs im Verdichter*
- Can-Brennkammer mit Low-NO_x-Brennern
- schnelle Startvorgänge durch reine Luftkühlung der heißen Komponenten
- Hohe Verfügbarkeit

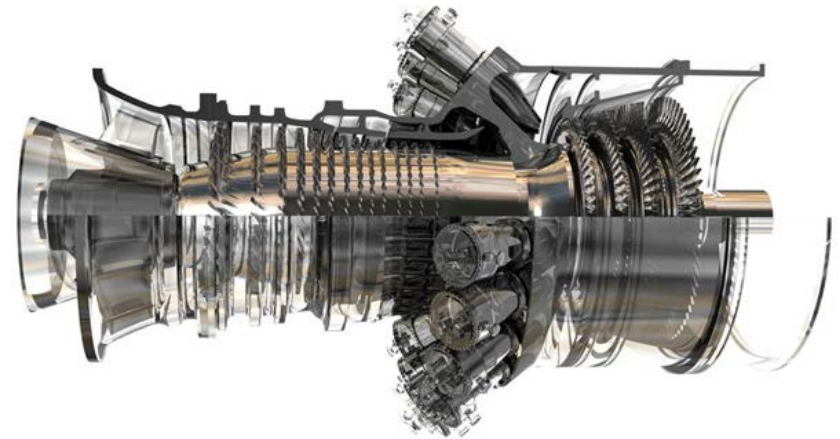


*: IGV = Inlet Guide Vane VGV = Variable Guide Vane

Quelle: Siemens



Entwicklungstendenzen: General Electric GE 9FB



- 510 MW CC-Blockleistung
- > 61 % CC-Wirkungsgrad (**brutto**)
- 40 – 100 % Leistung im Vormischbetrieb
- Lastgradienten > 50 MW/min
- ausschließlich luftgekühlt

- Ansaugmassenstrom: ~ 740 kg/s
- Verdichterdruckverhältnis: ~ 20 : 1
- Axialverdichterstufen: 14
- Turbinenstufen: 4
- Turbineneintrittstemperatur: ~ 1600 ° C

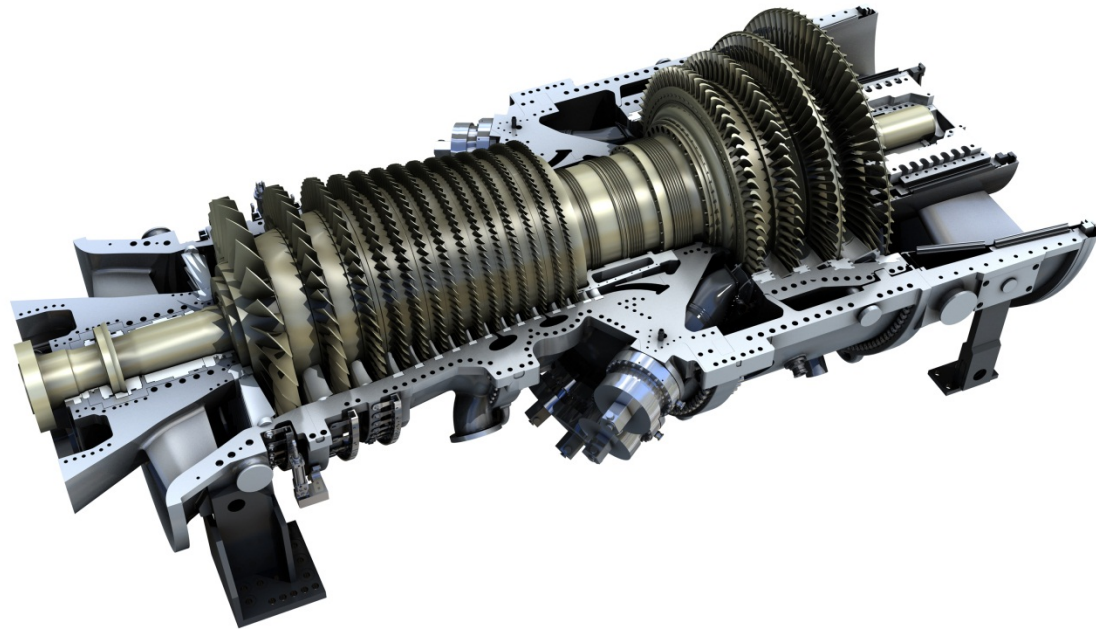
*Schätzwerte

Quelle: GE



Besondere Merkmale: GE 9FB FlexEfficiency50

- sehr hohe Lastgradienten möglich
- mehrere Zuganker mit Scheibensystem
- nur 2 Jahre Errichtungszeit und geringer Platzbedarf
- Start bis Volllast innerhalb von 30 min („One-Button-Push“)
- zweifach längere Wartungsintervalle gegenüber vorherigen GE-Anlagen
- 60 % CC-Wirkungsgrad bei bis zu 87 % rel. Leistung



Quelle: GE



Entwicklungstendenzen: Alstom Power GT26 NG



KA26 Next Generation



KA26 Combined-Cycle Power Plant
The Next Generation is Reality! Today!

- > 500 MW CC-Blockleistung
- > 61 % CC-Wirkungsgrad (brutto)
- 40 – 100 % Leistung im Vormischbetrieb
- externe Kühlung der Statorkühlluft
- Zwischenverbrennung
- Parkposition bei 20 % Leistung
- Ansaugmassenstrom: ~ 675 kg/s
- Verdichterdruckverhältnis: > 35 : 1
- Axialverdichterstufen: 22
- Turbinenstufen: 1 + 4
- Turbineneintrittstemperatur: ~ 1500 ° C
- Turbin austrittstemperatur: ~ 620 ° C

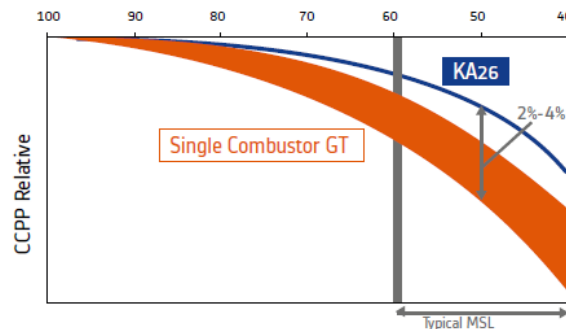
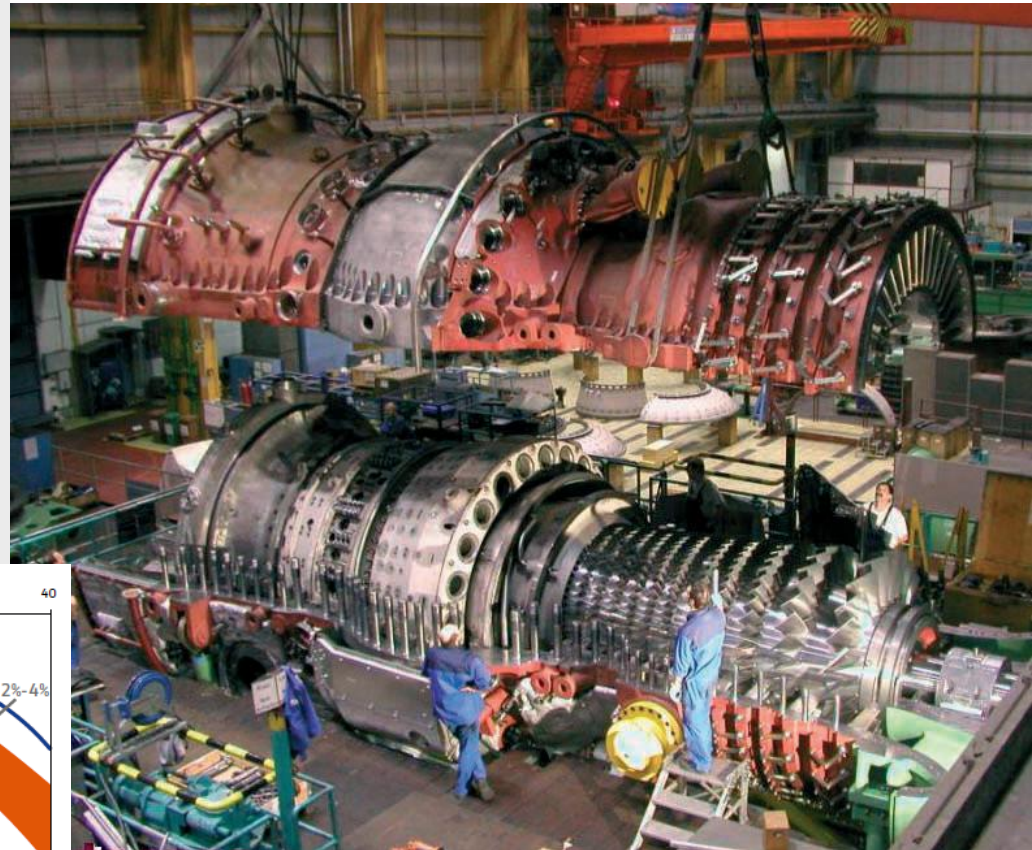
*Schätzwerte

Quelle: Alstom



Besondere Merkmale: GT26 NG

- einziger Wettbewerber mit Zwischenverbrennung
- massiv geschmiedeter Rotor
- „Parkposition“ bei 20 % Leistung möglich
- In 15 min sind von der Parkposition aus 350 MW verfügbar
- hohe Brennstoffflexibilität
- hoher Teillastwirkungsgrad



Quelle: Alstom



Entwicklungstendenzen: Mitsubishi M701J



- > 680 MW CC-Blockleistung
- 61,7 % CC-Wirkungsgrad (**brutto**)
- 40 – 100 % Leistung im Vormischbetrieb
- Einsatz von Dampfkühlung in der Brennkammer

- Ansaugmassenstrom: 885 kg/s
- Verdichterdruckverhältnis: 23 : 1
- Axialverdichterstufen: 15
- Turbinenstufen: 4
- Turbineneintrittstemperatur: 1600 ° C
- Turbinenaustrittstemperatur: 638 ° C

***Schätzwerte**

Quelle: Mitsubishi



Besondere Merkmale: M701J

- größte Blockleistung und höchster CC-Wirkungsgrad (brutto)
- höchste Turbineneintrittstemperatur (1700 ° C geplant)
- teilweise dampfgekühlte Brennkammer
- Einsatz neuer keramischer Thermoschutzschichten in der Turbine



Quelle: Mitsubishi



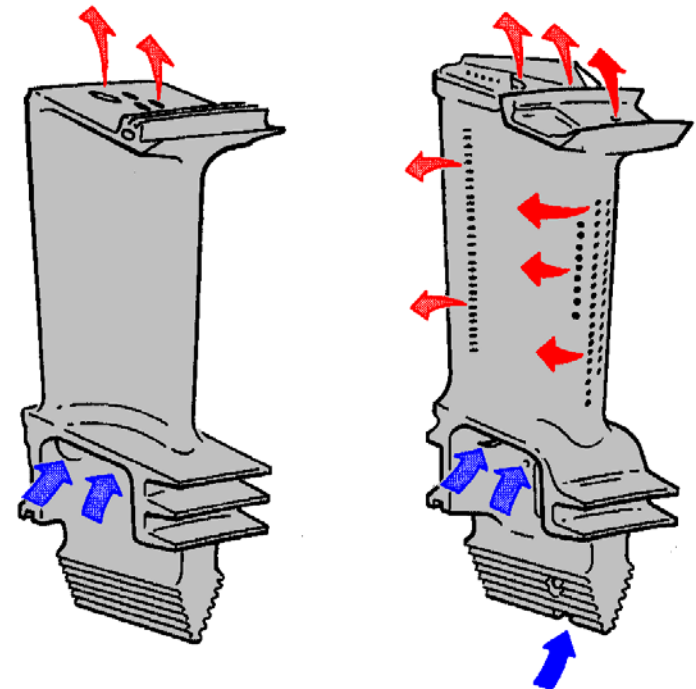
Dampfkühlung bei Turbinenschaufeln

Vorteile

- höhere Kühlungseffektivität durch höhere Wärmekapazität
- keine Kühlluftentnahmen im Verdichter nötig
- Steigerung des CC-Wirkungsgrades um $< 3 \text{ \%}$ -Pt.

Nachteile

- hohe Temperaturgradienten in der Schaufel (Thermospannungen)
- schlechte Durchflutung von Schaufelvorderkanten durch höhere Viskosität → an der Vorderkante nicht einsetzbar
- Filmkühlung durch geschlossenen Dampfkreislauf nicht möglich, aber nötig!
- Beeinträchtigung der Betriebsflexibilität und der Schnellstartfähigkeit
- Hohe Druckverluste bei der Rotorkühlung durch lange Wegstrecken



**geschlossener
Kreislauf**

offener Kreislauf

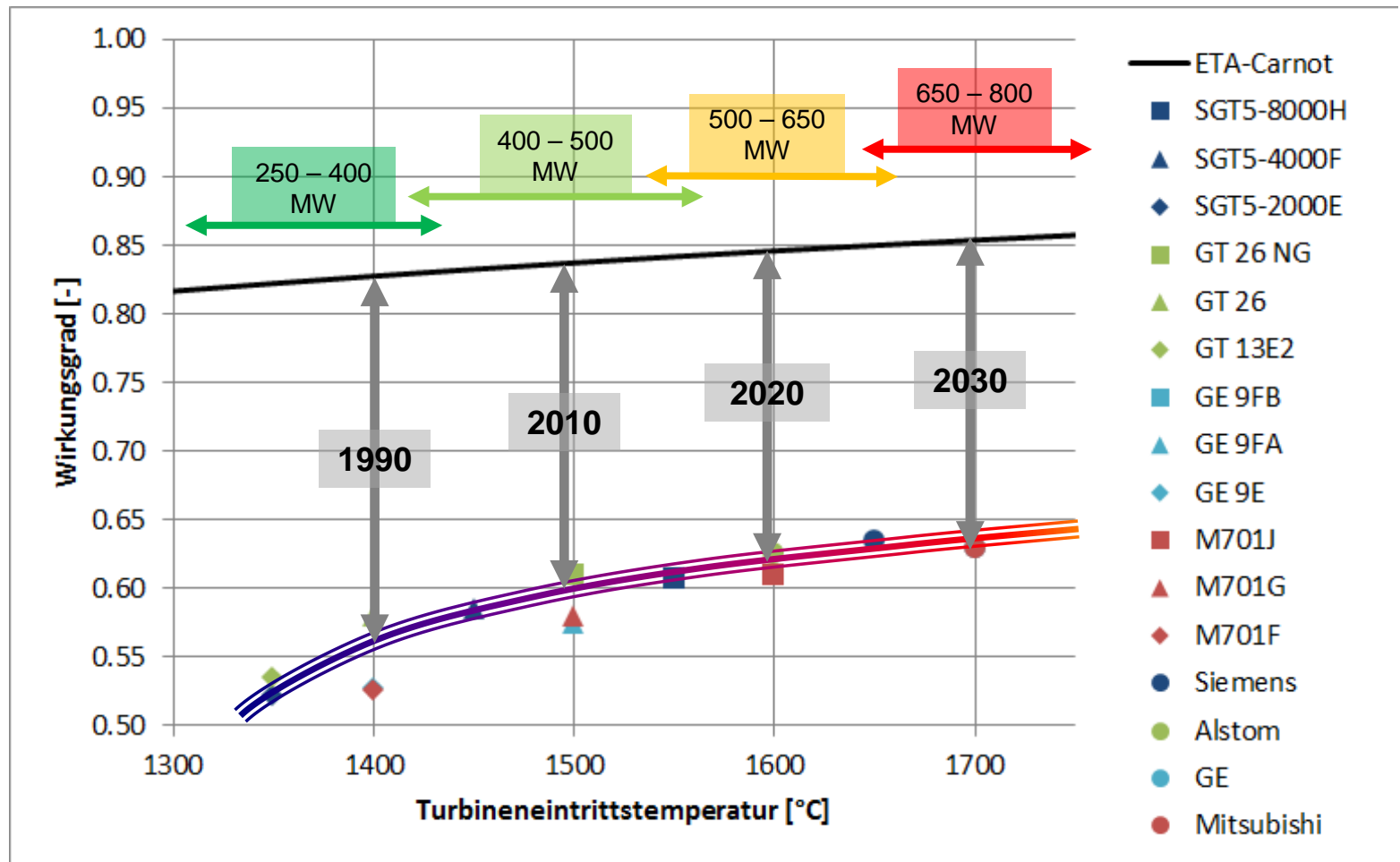


Gliederung

1. Institut für Antriebstechnik – DLR
2. Anforderungen an Gasturbinen im Kraftwerkssektor
3. Entwicklungstendenzen am Markt
4. **Gasturbinentechnologie für Morgen**



Technologiefortschritt der letzten Jahrzehnte



Auslegungstendenzen von Gasturbinen

- steigende Blockleistung zur Deckung des steigenden Strombedarfs (Verdichtermassenstrom erhöhen)
- steigende Effizienz zur Senkung des Primärenergiebedarfs (Kühlluftbedarf senken & Turbineneintrittstemperatur erhöhen)
- hohe Brennstoffflexibilität (variable Gaskompositionen und hohe Wasserstoffanteile)
- hohe Lastgradienten ($> 50 \text{ MW/min}$) und Schnellstartfähigkeit für Kompatibilität mit regenerativen Energien
- stabile Vormischverbrennung bei hohen Temperaturen unter Einhaltung der NO_x -Limits (Can-Brennkammersystem)
- breiter Betriebsbereich des Verdichters für hohe Teillastwirkungsgrade (IGV & mehrere VGVs)

→ Ansaugmassenstrom: Steigerung von

→ Druckverhältnis: Steigerung von

→ Turbineneintrittstemperatur: Steigerung von

→ CC-Wirkungsgrad (netto): Steigerung von

750...950 kg/s

auf

19...23

auf

1550...1600 ° C

auf

60...61 %

auf

1000 ...1200 kg/s

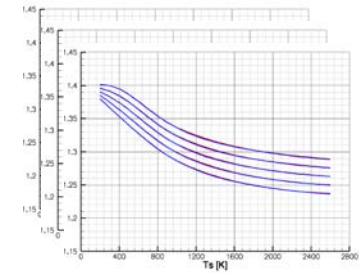
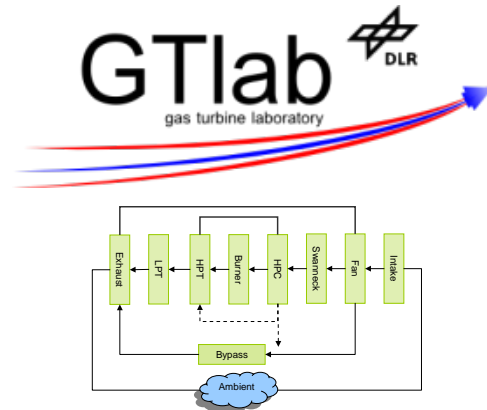
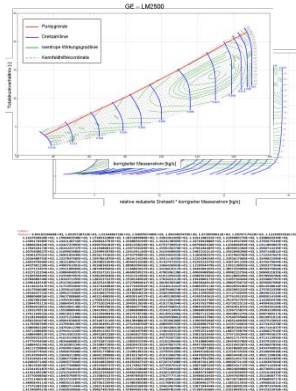
20 ... 25

1650 ...1750 ° C

62 ... 64 %



Entwicklung der Gasturbine von Morgen



GTlab

Physik

Numerik

Komponentenmodule

Gasturbinenmodelle



Anwendungen

Auslegung

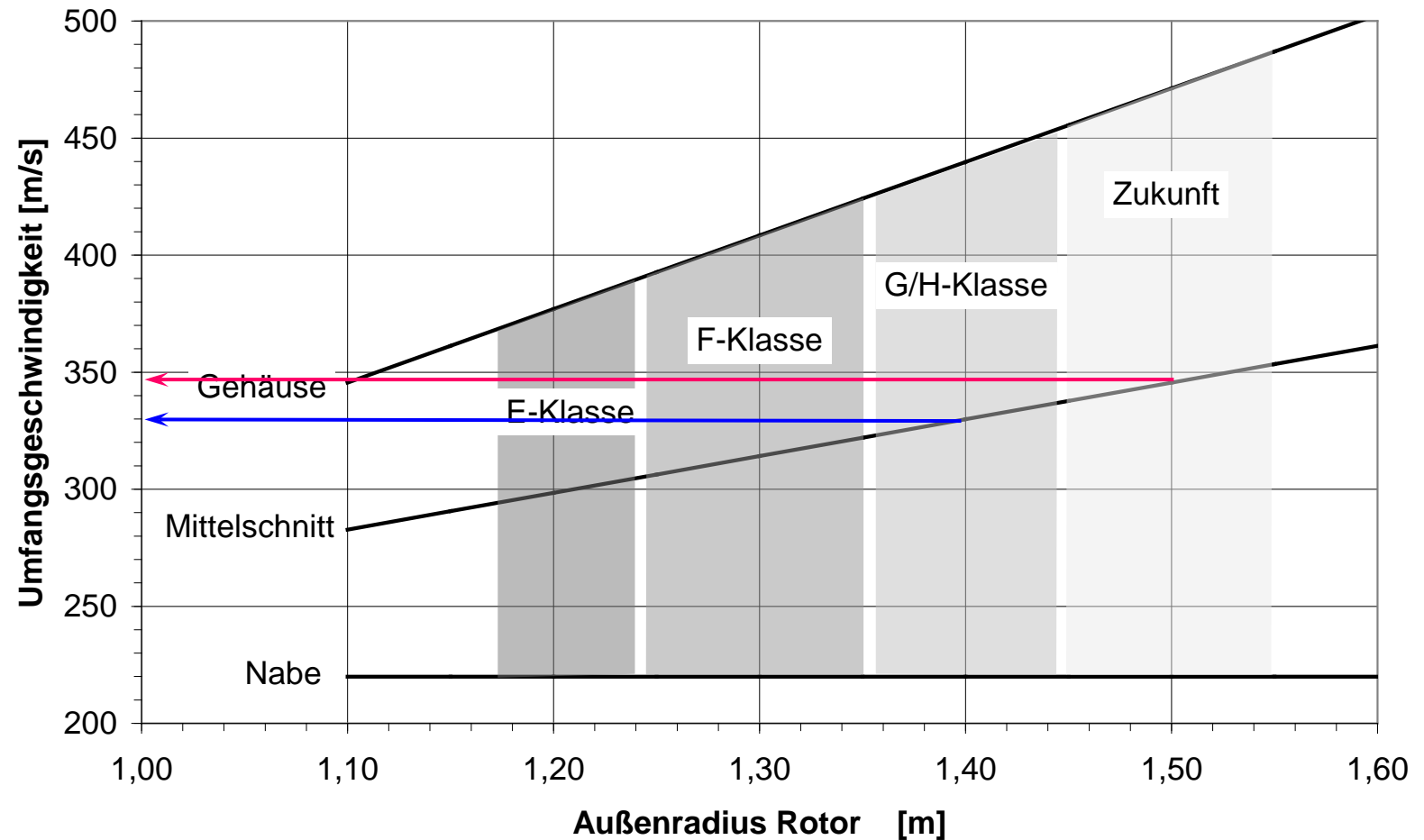
Konzeptanalyse

Komponentenanalyse

Missionsrechnungen



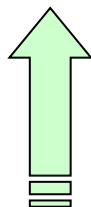
Umfangsgeschwindigkeiten bei Gasturbinen



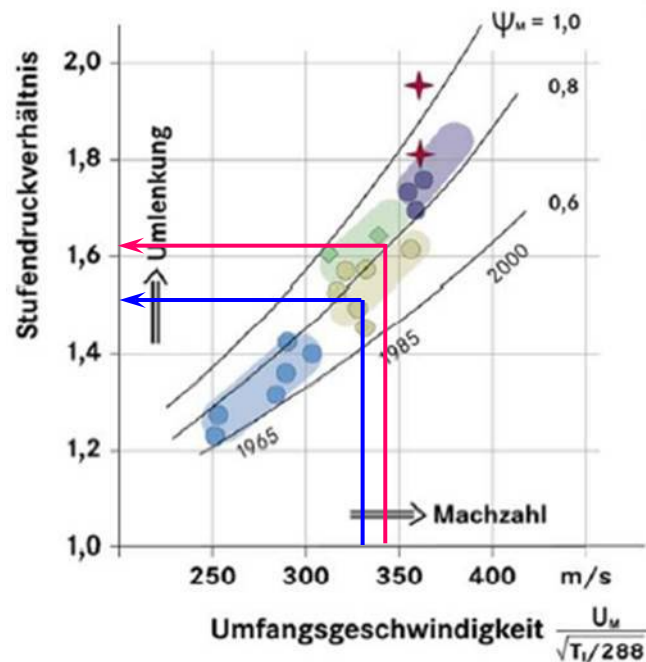
Quelle: „Stationäre Gasturbinen“, Springer-Verlag, 2010



Stufendruckverhältnis moderner Verdichter



- hohe Strömungsumlenkung
- hohe Strömungsverzögerung
- starke Sekundärströmungen
- starke instationäre Effekte
- hohe Schaufelzahlen
- höhere viskose Verluste



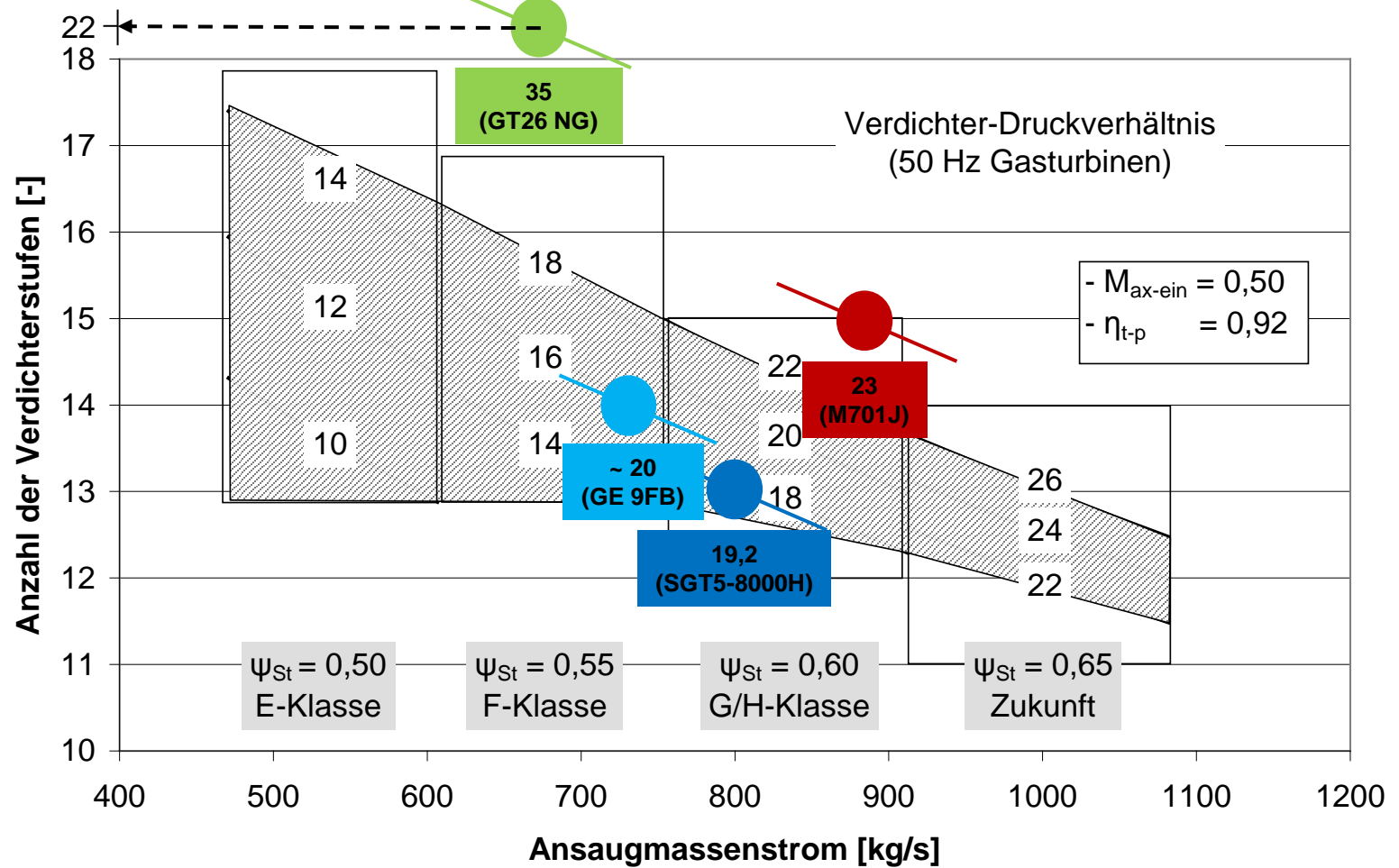
Quelle: MTU Aero Engines

das Stufendruckverhältnis wächst – bei gleicher Technologie – etwa quadratisch mit der Umfangsgeschwindigkeit!

- hohe Fliehkraftbeanspruchung
- hohe Strömungsgeschwindigkeit
- höhere gasdynamische Verluste



Anzahl der Verdichterstufen



Quelle: „Stationäre Gasturbinen“, Springer-Verlag, 2010



Anforderungen an die Komponenten

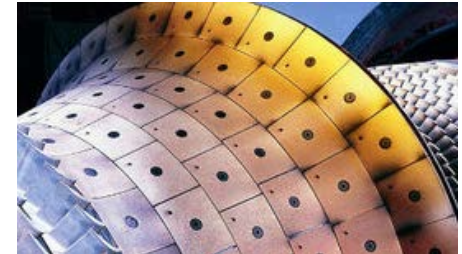
Verdichter

- steigendes Druckverhältnis und Außendurchmesser → höhere Umfangsgeschwindigkeit und instationäre Strömungseffekte
- steigendes Temperaturniveau (600 ° C) → Hochtemperaturwerkstoffe
- breiter Betriebsbereich mit hohem Wirkungsgrad → variable Geometrie



Brennkammer

- steigende Verbrennungstemperaturen führen zu höheren Druckamplituden in der Brennkammer → Can-Brennkammer
- steigendes Temperaturniveau erhöht die NO_x-Emissionen → stabile magere Vormischverbrennung



Turbine

- steigende Turbineneintrittstemperaturen → hochwarmfeste Schaufelmaterialien (Einkristall-Nickelbasiswerkstoffe, Keramik)
- hocheffiziente Kühlkonzepte und Dichtungssysteme zur Vermeidung von Leckageluft und Senkung des Kühlluftbedarfs
- flatterstabile Endstufen zur Beherrschung großer Abgasmassenströme



Quelle: Siemens



Vielen Dank!

Dipl.-Ing. Carl-Georg Seydel

Telefon: +49(0) 2203 601-2846

Telefax: +49(0) 2203 64395

E-Mail: carl-georg.seydel@dlr.de



Wissen für Morgen

